



Fakulta zemědělská  
a technologická  
Faculty of Agriculture  
and Technology

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

# JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra genetiky a biotechnologií

Studijní program: Fytotechnika

Studijní obor: Speciální produkce rostlinná

## AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

### Vliv ošetření chladným plazmatem na biologické vlastnosti osiva pšenice

*Autor:*

Ing. Stanislav Ježek

*Školitel:*

prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.

České Budějovice, 2023

## **Autoreferát disertační práce**

**Doktorand:** Ing. Stanislav Ježek

Studijní program: Fytotechnika

Studijní obor: Speciální produkce rostlinná

Název práce: Vliv ošetření chladným plazmatem na biologické vlastnosti osiva pšenice

**Školitel:** prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta zemědělská a technologická

Katedra genetiky a biotechnologií

**Oponent:** doc. Ing. Radim Cerkal, Ph.D.

Mendelova univerzita v Brně

Agronomická fakulta

Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství

**Oponent:** Ing. Petra Hlásná – Čepková, Ph.D.

VÚRV Praha Ruzyně

Odbor genetiky a šlechtění rostlin

Genová banka

**Oponent:** doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta zemědělská a technologická

Katedra agroekosystémů

Obhajoba disertační práce se koná dne 18.6. 2024 v zasedací a seminární místnosti ZR01 053, 1. patro na Katedře genetiky a zemědělských biotechnologií Zemědělské a technologické fakulty JU v Českých Budějovicích.

S disertační prací se lze seznámit na studijním oddělení Zemědělské a technologické fakulty JU v Českých Budějovicích.

doc. Ing. Jan Bárta, Ph.D.  
předseda oborové rady  
Katedra rostlinné výroby  
FZT JU v Českých Budějovicích

# Abstrakt

*Název práce:*

## **Vliv ošetření chladným plazmatem na biologické vlastnosti osiva pšenice**

*Abstrakt:* Disertační práce zkoumala vliv nízkoteplotního plazmatu ze zdroje *Gliding Arc* na zdravotní stav a kvalitu osiva pšenice a vliv tohoto ošetření na následný vývoj rostlin ve skleníkových i polních podmínkách a výnos. Zkoumal se potenciál využití chladného plazmatu jako náhrady za chemické moření s ohledem na nižší vstupy chemických látek do životního prostředí.

V práci byly testovány klasická a nově vyvinutá sestava přístroje a různé látky přidávané do procesu ošetření tak, aby se dosáhlo zvýšení efektivity ošetření.

Práce se dělí do několika logických celků:

1. Měření teplotních charakteristik plazmatického ošetření v různých sestavách přístroje
2. Posouzení vlivu plazmatického ošetření na poškození semen a jejich vlastnosti
3. Posouzení vlivu různých látek přidávaných do procesu plazmatického ošetření a různých sestav přístroje na klíčivost spor *Tilletia*
4. Hodnocení růstových charakteristik rostlin pšenice po ošetření nově vyvinutou sestavou přístroje a porovnání s klasickou sestavou (jednoleté laboratorní, skleníkové a polní testy)
5. Dvouleté laboratorní, skleníkové a polní testy nově vyvinuté sestavy přístroje

Ošetření chladným plazmatem typu *Gliding Arc* mělo negativní vliv na klíčivost spor *Tilletia caries*, čímž se zlepšoval zdravotní stav osiva. Ošetření vykazovalo i kladný vliv na počáteční růst rostlin např. na tvorbu kořenové hmoty. Výnos zrna a jeho kvalitu ošetření plazmatem neovlivnilo.

Práce vznikla za podpory projektů:

GAJU 080/2022/Z

MZE-RO 2018

*Klíčová slova:* chladné plazma, *Gliding Arc*, pšenice, *Tilletia*, osivo

# Abstract

*Title:*

**Effect of cold plasma treatment on the biological properties of wheat seed.**

*Abstract:* The thesis investigated the effect of low-temperature plasma from the *Gliding Arc* source on the health status and quality of wheat seeds and the effect of this treatment on subsequent plant development in greenhouse and field conditions and yield. The potential of using cold plasma as a substitute for chemical treatment was investigated with regard to lower inputs of chemical substances into the environment.

In the work, the classic and newly developed assembly of the device and various substances added to the treatment process were tested in order to achieve an increase in the effectiveness of the treatment.

The work is divided into several logical units:

1. Measurement of the temperature characteristics of plasma treatment in different sets of the device
2. Assessment of the effect of plasma treatment on seed damage and their properties
3. Assessment of the effect of different substances added to the plasma treatment process and different device configurations on *Tilletia* spore germination
4. Evaluation of the growth characteristics of wheat plants after treatment with the newly developed device set-up and comparison with the classic set-up (one-year laboratory, greenhouse and field tests)
5. Two-year laboratory, greenhouse and field tests of the newly developed device assembly

Cold plasma treatment of the *Gliding Arc* type had a negative effect on the germination of *Tilletia caries* spores, thereby improving the health of the seed. The treatment also showed a positive effect on the initial growth of plants, e.g. on the formation of root mass. Grain yield and its quality were not affected by plasma treatment.

The work was created with the support of projects:

GAJU 080/2022/Z

WZE-RO 2018

Keywords: cold plasma, *Gliding Arc*, wheat, *Tilletia*, seed

## Obsah

1	Úvod .....	7
2	Literární přehled .....	9
3	Cíle, metodika práce a výzkumné hypotézy .....	13
4	Popis a výsledky pokusů .....	15
4.1	Plazmovací aparatura .....	15
4.2	Cíl: Měření teplotních charakteristik plazmatického ošetření v různých sestavách přístroje .....	15
4.3	Cíl: Posouzení vlivu plazmatu na poškození semen a jejich vlastnosti .....	17
4.3.1	Konduktometrie .....	17
4.3.2	Test nasákavosti semen .....	19
4.4	Cíl: Posouzení vlivu různých látek přidávaných do procesu plazmatického ošetření a různých sestav přístroje na klíčivost spor <i>Tilletia</i> .....	20
4.5	Cíl: Hodnocení růstových charakteristik rostlin pšenice po ošetření nově konfigurovanou sestavou přístroje a porovnání s klasickou sestavou .....	24
5	Posouzení výzkumných hypotéz .....	29
6	Použitá literatura .....	30
7	Životopis a publikace .....	34

## Vysvětlivky

### Zkratky užívané v textu:

BBCH – mezinárodní stupnice vývojových a růstových stádií

D3G – deoxynivalenol – 3- $\beta$ -d – glucosid

DON – deoxynivalenol

HTZ – hmotnost tisíce zrn

PAW – plazmatem aktivovaná voda (plasma activated water)

SCFH – standardní kubická stopa za hodinu (měrná veličina objemu plynu za hodinu)

T2 – trichotecenový mykotoxin

### Zkratky užívané při označování variant ošetření:

KON – kontrolní varianta

LV – ledek vápenatý

LVTER – směs ledku vápenatého a Terra-Sorbu<sup>®</sup>

TER – Terra-Sorb<sup>®</sup>

S1 – klasická sestava přístroje *Gliding Arc*

S2 – sestava přístroje *Gliding Arc* modifikovaná pro tuto práci

PL – varianty S1 sestavy (číslo uvádí vzdálenost trysky (cm)/čas ošetření (min) nebo jen čas)

VZ – jednotlivé varianty S2 sestavy (číslo uvádí čas ošetření v minutách)

Označení variant začínající číslem – varianty s přístřikem roztoků

# 1 Úvod

Obilniny s osevní plochou 1 326 537 ha zaujímaly v roce 2023 54,9 % celkové oseté a osázené zemědělské plochy v České republice (ČSÚ, 2023). To je řadí mezi nejvýznamnější plodiny využívané jako potraviny, krmiva a v neposlední řadě i suroviny pro potravinářskou a průmyslovou výrobu (škrob, etanol). Z celkové plochy obilnin zaujímala ozimá pšenice 58,7 % se 778 972 ha a jarní 2,6 % s 35 321 ha (ČSÚ, 2023).

Při takovém zastoupení na osevních plochách je samozřejmá velká potřeba kvalitního rozmnožovacího materiálu. Kvalitu osiva je možné posuzovat z několika hledisek: genetického, biologického a semenářského.

Genetické hledisko tvoří vhodný výběr kvalitní odrůdy určené pro daný účel pěstování a dané přírodní i technologické podmínky. Biologické hledisko zahrnuje kvalitu biologického materiálu semene, je ovlivněno proveniencí osiva a vyžaduje dodržování správných technologických postupů při pěstování osiva v semenářských podnicích. Semenářská hodnota osiva vyjadřuje jeho měřitelné vlastnosti (vlhkost, čistotu, klíčivost, HTZ, zdravotní stav).

Předosevní příprava osiva tvoří důležitou část kvality osiva. Je zaměřena na udržování nebo zlepšování zdravotního stavu osiva a někdy i ochraně osiva v budoucnu proti půdním patogenům. Další aspekt předosevní přípravy je v úpravě semenářských vlastností semen. Vhodně vybranou předosevní přípravou osiva je možné v některých případech částečně napravit nedostatky při výrobě osiva.

Dosud nejčastěji užívanou metodou předosevní přípravy osiva u zemědělských plodin je moření chemickými látkami. Vzhledem k stále se zvyšujícímu tlaku na omezování vstupu chemických látek do životního prostředí je kladen důraz na vývoj nových metod předosevní přípravy osiva. Tento trend splňují biologická a fyzikální ochrana.

Práce se věnuje fyzikálním postupům předosevní přípravy osiva – ošetření chladným plazmatem. Tato metoda ošetření je relativně jednoduchá a účinná, proto se jeví jako perspektivní. Chladné plazma se již rutinně využívá v některých oborech např. v průmyslu na úpravy povrchů, v odpadovém hospodářství a v medicíně na desinfekci, v chemické výrobě na katalyzování procesů.

Výhodou chladného plazmatu při aplikaci v zemědělství v předosevní přípravě je jeho společné působení na zdravotní stav osiva i semenářské vlastnosti. Mnoha vědeckými pracemi byl dokázán jeho vliv na likvidaci patogenů i na živém materiálu. I jeho působení na úpravy

povrchů semen bylo dokázáno. Semenům se po ošetření zlepšuje hydrofilicita povrchu a v některých případech se zrychluje klíčení a vzcházení.

Všechny tyto faktory určují chladné plazma k podrobnému výzkumu, který by mohl vyústit ve vývoj nové metody předosevní přípravy osiva. Ten by měl splňovat všechny požadavky na kvalitu připraveného osiva a zároveň náročné ekologické požadavky. Mohl by být využíván i pro ekologické zemědělství.



## 2 Literární přehled

Práce se zabývá jedním z fyzikálních způsobů předosevního ošetření osiva. Využití chladného plazmatu k tomuto účelu je předmětem mnoha výzkumných prací, protože tato metoda má potenciál nahrazení chemické ochrany a tím omezení vstupů chemických látek do životního prostředí.

Předosevní přípravu osiva můžeme rozdělit do tří okruhů operací. První část činností jsou operace důležité k tomu, aby semeno bylo schopné vyklíčit. Další okruh je spojen s úpravou osiva kvůli snadnějšímu nebo přesnějšímu výsevu a rychlejšímu, stejnoměrnému vzcházení. Třetí souvisí s ochranou semen před patogeny.

Ošetřením chladným plazmatem dochází k ovlivnění osiva ve druhém a třetím okruhu. Může mít tedy vliv na rychlejší a stejnoměrnější vzcházení a zdravotní stav.

V práci bylo použito zařízení *Gliding Arc* (klouzavý výboj). Systémy tohoto typu jsou konstrukčně jednoduché s relativně levným provozem. Jsou energeticky velmi efektivní, protože více než 45 % energie je přímo převáděno do endotermálních reakcí (Czemichowski, 1994). Vysokonapěťový generátor s vestavěnou regulací proudícího vzduchu je napojen na dvě měděné nebo nerezové elektrody v uzavřeném izolovaném pouzdře. Mezi elektrody se pomocí vzduchové trysky dopravuje nosný plyn. Pokud jde o vzduch je užíván k jeho stlačování kompresor, jinak se využívá natlakovaných zásobníků plynu. Poslední součástí systému je míchací zařízení. Elektrody mohou mít tvar oblouku nebo obdelníků se zaoblenými rohy, aby se vzdálenost mezi nimi zvětšovala.

Princip zařízení je v zažehnutí výboje v místě, kde je vzdálenost mezi elektrodami nejmenší (1–2 mm). Použit je možné stejnosměrný i střídavý proud. Výboj se stává stabilním a dostává se do rovnovážného stavu. Dále je unášen proudem vzduchu nebo jiného nosného plynu rychlostí asi  $10 \text{ m s}^{-1}$  po dráze elektrod a tím se prodlužuje. Když výboj doputuje do oblasti větší vzdálenosti elektrod a jeho délka přesáhne kritickou hodnotu, přejde díky rychlému ochlazení do nerovnovážného stavu. Následně zaniká. Proces se neustále opakuje.

Posun výboje proudem vzduchu nebo jiného nosného plynu zajišťuje vhodné fyzikální podmínky pro ošetření materiálů a semen, především míru ionizace a nízkou teplotu. Zajišťuje také, že výboj nepřejde v elektrický oblouk. Nízkou teplotu dále zajišťuje i zdroj s rychle klesající výstupní charakteristikou, čímž je proud dodávaný do obvodu udržován na relativně nízkých hodnotách (Gavril et al., 2011).

*Gliding Arc* výboj je rutinně využíván v průmyslu při úpravách povrchů různých látek např. úprava hydrofobicity nebo hydrofilicity textilií a plastů (Cerny et al., 2019; Honga et al., 2019; Jelínek et al., 2019). Perspektivní využití je v oblasti nanomateriálů (Ma et al., 2021). Další významná oblast aplikace je odpadové hospodářství. Čištění plynů od nebezpečných látek z chemického průmyslu probíhá přímou termochemickou reakcí se znečišťujícím agens (Czemichowski, 1994). *Gliding Arc* výboj je možné využít i k čištění vody nebo jiných kapalin od nebezpečných látek (Krishna et al., 2016) nebo od patogenů (Gharagozalian et al., 2017; Burlica et al., 2004). Možná je likvidace patogenů v pevných komunálních odpadech a tím jejich příprava na další využití (Pawlat et al., 2021) nebo dekontaminace půd a písků (Czemichowski, 1994). Významná oblast využití je při výrobě H<sub>2</sub> (Du et al., 2012) a konverzi CO<sub>2</sub> pro snížení obsahu skleníkových plynů v průmyslové výrobě (Li et al., 2019; Indarto et al., 2007). Výboj *Gliding Arc* se využívá i k desinfekci povrchů (Dasan et al., 2017).

Pro využití v zemědělství a potravinářství je důležitá schopnost omezování nebo likvidace patogenů.

Khalili et al. (2018) v jejich práci testovali dekontaminaci mandlí od *Escherichia* v závislosti na čase expozice a výkonu přístroje. Ke snížení přežití bakterií došlo při každém ošetření.

Moreau et al. (2005) testovali účinnost *Gliding arc* se směsí N<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> saturovanou vodní párou na tři kmeny bakterie *Erwinia*. Při ošetření delším než 7,5 min byla likvidace bakterií podle kmene od 89 % do 100 %.

Podle výsledků testování vlivu *Gliding Arc* o různých expozičních časech ve vzdálenosti trysky 40 mm na soubor fytopatogenních bakterií Beran et al. (2016) zjistili větší citlivost na ošetření u gramnegativních bakterií.

Další důležitý patogen *Fusarium oxysporum* byl předmětem výzkumu Liu et al. (2021). Byl testován *Gliding Arc* zdroj na uměle infikovaná semena *Astragalus*. Po přímém působení 90 s došlo k likvidaci více než 98 % infekce.

Při porovnání reakce *Fusarium graminearum* a *F. meridionale* na *Gliding Arc* ošetření lze konstatovat výrazné druhové rozdíly. Při expozici 15 min došlo k úplné inhibici *F. meridionale*, zatímco *F. graminearum* vykazovalo jen zpomalený vývoj (Chiappim et al., 2023).

Kromě patogenů má plazmatický výboj *Gliding Arc* potenciál omezovat i jejich metabolismy.

Chiappim et al. (2023) testovali vliv ošetření na obsah DON. U většiny zkoušených vzorků ječmene došlo ke snížení obsahu, ale vyskytly se i čtyři, kde se obsah DON po ošetření zvýšil.

Havelka et al. (2019) zjistili také možnost snížení obsahu toxinů (DON, deoxynivalenol-3- $\beta$ -d-glucosid D3G) v ječmeni a sladu. Po radikálním odbourání čistých toxinů ošetřením *Gliding Arc* plazmatem (DON o 96 %, D3G o 70 %) se podařilo dokázat i možnost odbourávání toxinů v zrně.

Kříž et al. (2015) testovali vliv *Gliding Arc* v porovnání s plazmatem ve vakuu na obsah DON a T2 mykotoxinu v ječmenu. Oba mykotoxiny byly pomocí *Gliding Arc* odbourávány pozvolněji DON na 82 % a T2 na 40 % při 4 min expozici, ale u vakuového ošetření došlo po rychlém poklesu zase k navýšení hodnot. Při testu ovlivnění kvalitativních parametrů u pšenice pomocí *Gliding Arc* autoři konstatovali, že toto plazma ovlivnilo významněji pouze obsah mokrého lepku, ostatní sledované parametry se průkazně nezměnily.

Zabránění degradace potravin enzymatickým rozkladem je další možná aplikace tohoto výboje.

Khani et al. (2017) zkoumali vliv *Gliding Arc* na aktivitu peroxidázy u rajčete. Potvrdili omezení aktivity peroxidázy ve srovnatelném čase jako u konvenčních metod. Bonus je teplota, která na povrchu rajčete nepřesáhla 40 °C. Barevné změny vyvolané plazmatickým ošetřením byly nepatrné.

Důležité je působení *Gliding Arc* na semenářskou kvalitu osiva tady na klíčivost, vitalitu a vzcházivost. Ošetření může ovlivnit i další růst mladých rostlin.

Sera et al. (2017) při testech porovnávali *Gliding Arc* s mikrovlnným vakuovým aparátem. Ošetřovali tři kultivary *Canabis*. *Gliding Arc* měl na klíčení, velikost mladých rostlin, jejich hmotnost a denní přírůstek pozitivní nebo neutrální vliv.

Na vlivu *Gliding Arc* ošetření na klíčení a vývoj rostlin ječmene pracovali Strejckova et al. (2018). Z jejich práce vyplývá zlepšující účinek plazmatického ošetření na vývoj mladých rostlin charakterizovaný vyšším růstovým indexem kořenů i nadzemních částí oproti kontrolní variantě.

Při testech prováděných s *Gliding Arc* plazmatem s různými nosnými plyny (H<sub>2</sub>O/vzduch, H<sub>2</sub>O/O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O/O<sub>2</sub>/vzduch) na pšenici konstatovali Roy et al. (2018) největší pozitivní efekt na klíčivost při 3 a 6 min bez ohledu na nosný plyn. První dva jmenované nosné plyny vykazovaly při expozici 6 min i nejlepší index vitality. Velikost rostlin sedmý den byla největší také při 6 min se všemi plyny.

*Gliding Arc* je vhodný zdroj i pro výrobu PAW (plazmatem aktivovaná voda). Terebun et al. (2021) ošetřovali vodu 5, 10 a 20 min a osivo řepy a mrkve ošetřovali 1 hod. Řepa vykazala nejlepší energii klíčení i klíčivost při použití vody vyrobené 20 min ošetřením. U mrkve byla stejná varianta nejlepší jen u energie klíčení.

Jako modelový patogen v práci byla použita mazlavá sněť *Tilletia caries (triticii)*. Tato sněť byla vybrána, protože patří mezi velmi významné patogeny přenosné osivem, proti kterým se využívá ochrana chemickým mořením. Mazlavé sněti způsobují typický zápach zrna po zkažených rybách díky trimethylaminu vyskytujícímu se ve sporách (Hanna et al., 1932). Tím znehodnocují zrno pro potravinářství i krmivářství (Preugschat et al., 2014). Škodlivé látky nebyly dosud prokázány. Při špatném ošetření osiva může sněť způsobit fatální škody na produkci.

Chladné plazma na omezení spor *T. laevis* (mazlavá sněť se stejným životním cyklem jako *T. caries*) na pšeničných zrnech užívali Bychkov et al. (2021). Při testování pozitivního koronového výboje dosáhli snížení houbové infekce u *T. laevis* při 60 min působení plazmatu o 7,8 %. Pro srovnání *Alternaria a Bipolaris* se podařilo úplně eliminovat již při expozici 15 min.

Ošetření chladným plazmatem v sobě kombinuje účinky několika samostatných fyzikálních metod. Jde o působení reaktivními částicemi, UV zářením, elektrickým a magnetickým polem, teplotou a abrazí při proudění hnacího plynu. Proto má velkou perspektivu využití. O tom svědčí množství probíhajících výzkumů v tomto oboru.

### 3 Cíle, metodika práce a výzkumné hypotézy

Hlavním cílem disertační práce bylo prozkoumat vliv nízkoteplotního plazmatu ze zdroje *Gliding Arc* na zdravotní stav a kvalitu osiva pšenice a vliv tohoto ošetření na následný vývoj rostlin ve skleníkových i v polních podmínkách a výnos. Zkoumal se potenciál využití chladného plazmatu jako náhrady za chemické moření s ohledem na nižší vstupy chemických látek do životního prostředí. Dalším cílem práce byla snaha o zefektivnění plazmatického ošetření zkrácením času aplikace pomocí úprav přístroje.

#### **Práce byly rozděleny do pěti tematických celků:**

1. Měření teplotních charakteristik plazmatického ošetření v různých sestavách přístroje
2. Posouzení vlivu plazmatického ošetření na poškození semen a jejich vlastnosti
3. Posouzení vlivu různých látek přidaných do procesu plazmatického ošetření a různých sestav přístroje na klíčivost spor *Tilletia*
4. Hodnocení růstových charakteristik rostlin pšenice po ošetření nově konfigurovanou sestavou přístroje a porovnání s klasickou sestavou
5. Dvouleté polní maloparcelkové testy nově konfigurované sestavy přístroje

První tematický celek řešil otázky týkající se teploty při ošetření. Ta tvoří klíčový faktor z hlediska poškození semen. Měření teploty v několika hladinách pomohlo určit kombinace sestav přístroje a expozice, které jsou vhodné a naopak, které již nejde použít k ošetření osiva.

Druhá část porovnávala vliv ošetření klasickou sestavou přístroje a nově konfigurovanou sestavou na poškození povrchových vrstev semen pomocí měření vodivosti výluhu ze semen. Dále byl sledován vliv výše uvedených ošetření na příjem vody semenem. Díky opakovanému měření byla získána i data vedoucí k posouzení možností dlouhodobého skladování plazmaticky ošetřeného osiva.

Třetí oddíl byl věnován vlivu plazmatického ošetření na zdravotní stav interpretovaný klíčivostí spor *Tilletia caries* na uměle infikovaném osivu pšenice. V testech v tomto okruhu nejvíce vynikla různá hladina efektivity jednotlivých způsobů a expozic ošetření.

Ve čtvrtém celku byly prováděny růstové testy rostlin pšenice v laboratorních, skleníkových a polních podmínkách při ošetření přístrojem v klasické a nové sestavě. Hodnotily se důležité růstové charakteristiky během celé vegetace včetně výnosu a kvality zrna.

Poslední část práce se zabývala dvouletými zkouškami vybraného nejefektivnějšího způsobu ošetření tedy přístroje v nové sestavě. Hodnotily se růstové charakteristiky v laboratorních, skleníkových i polních podmínkách, výnos a kvalita zrna.

### **Výzkumné hypotézy:**

Vzhledem k cílům a metodice práce byly stanoveny následující výzkumné hypotézy:

**Hypotéza H1:** Ošetření osiva pšenice chladným plazmatem ovlivňuje jeho semenářské vlastnosti.

**Hypotéza H2:** Ošetření osiva pšenice chladným plazmatem ovlivňuje následný růst a výnos.

**Hypotéza H3:** Ošetření osiva pšenice chladným plazmatem může omezit využívání chemických látek v zemědělství.

**Hypotéza H4:** Ošetření osiva pšenice chladným plazmatem snižuje klíčivost spor *Tilletia caries*.

## 4 Popis a výsledky pokusů

### 4.1 Plazmovací aparatura

Pro ošetření osiva byl v práci užit zdroj chladného plazmatu typu *Gliding Arc* (klouzavý výboj) umístěný v JCU v Českých Budějovicích zapůjčený firmou SurfaceTreat, a.s. Přístroj byl využíván ve standardní sestavě, ve standardní sestavě s přístřikováním roztoků mezi plazmovou trysku a osivo a v sestavě individuálně modifikované pro účely této práce.

Standardní sestava – S1 se skládala z vysokonapětového generátoru s integrovaným rotametrem, plazmové hlavice s elektrodami, kompresoru a míchacího zařízení. U varianty s přístřikem roztoků byl užit přesný ruční postřikovač pro jejich aplikaci mezi trysku a osivo. U modifikované sestavy – S2 byla plazmová hlavice otočená nahoru a míchací zařízení bylo nahrazeno nádobou z pletiva z nerezové oceli pověšeného nad plazmovou hlavici.

Při ošetřování se u systému S1 využívala vzdálenost hlavice od osiva 60 mm a 100 mm u systému S2 20 mm. Průtok vzduchu byl nastaven na 30 SCFH u S1 a 80 SCFH u S2 systému. U obou systémů bylo osivo ošetřováno expozičními 1, 2, 3, 4, 5 a 8 min.

U variant s přístřikem roztoku mezi trysku a osivo (pouze S1 systém) byly užity expoziční 2, 3 a 4 min. Dávka 1 ml roztoku na 25 g osiva byla rozpočtena podle doby expozice rovnoměrně na 10 přístřiků po 0,1 ml.

Pro pokusy bylo použito osivo ozimé pšenice Julie a jarní pšenice Pexeso (Selgen a.s.).

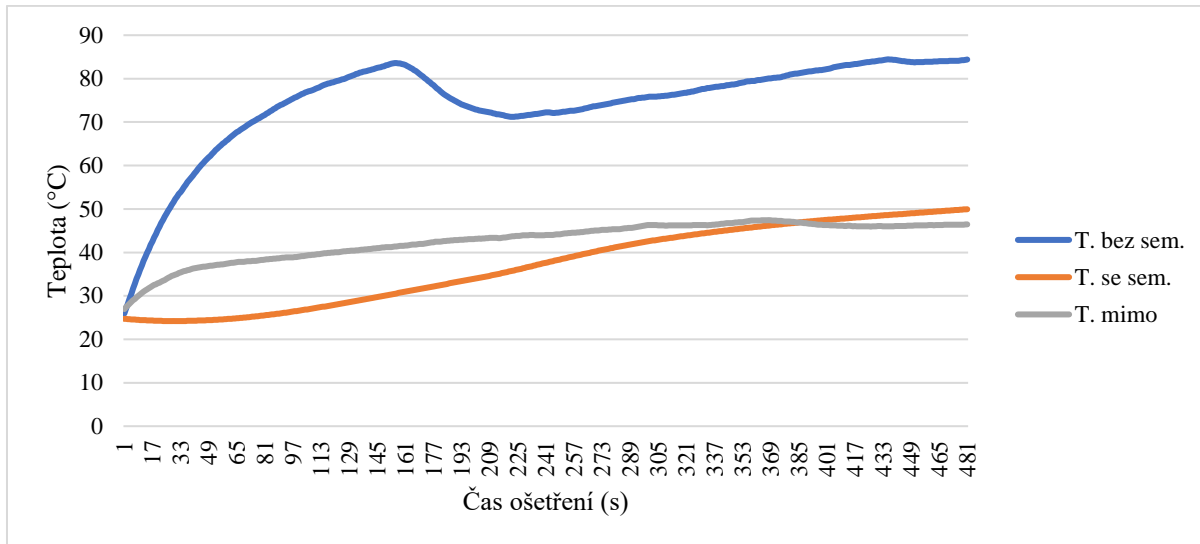
### 4.2 Cíl: Měření teplotních charakteristik plazmatického ošetření v různých sestavách přístroje

**Metodika:** Měření teploty při procesu ošetření probíhalo pomocí přesného registračního teploměru dataloggeru s externím čidlem. Záznam byl pořizován každou 1 s. U standardně sestaveného systému S1 byla teplota měřena na dně míchacího zařízení pod hlavici bez semen, alternativně s pokrytím 25 g semen a dále na opačné straně míchadla než je umístěna plazmatická hlavice opět na dně (interpretováno jako teplota prostoru). Měření probíhalo se vzdálenostmi trysky 100 a 60 mm od potenciálního povrchu osiva po dobu 8 min, u variant s přístřikem roztoku 4 min. U systému S2 byla teplota měřena na dně pletivové nádoby tedy 20 mm od plazmové hlavice bez semen a s 25 g semen.

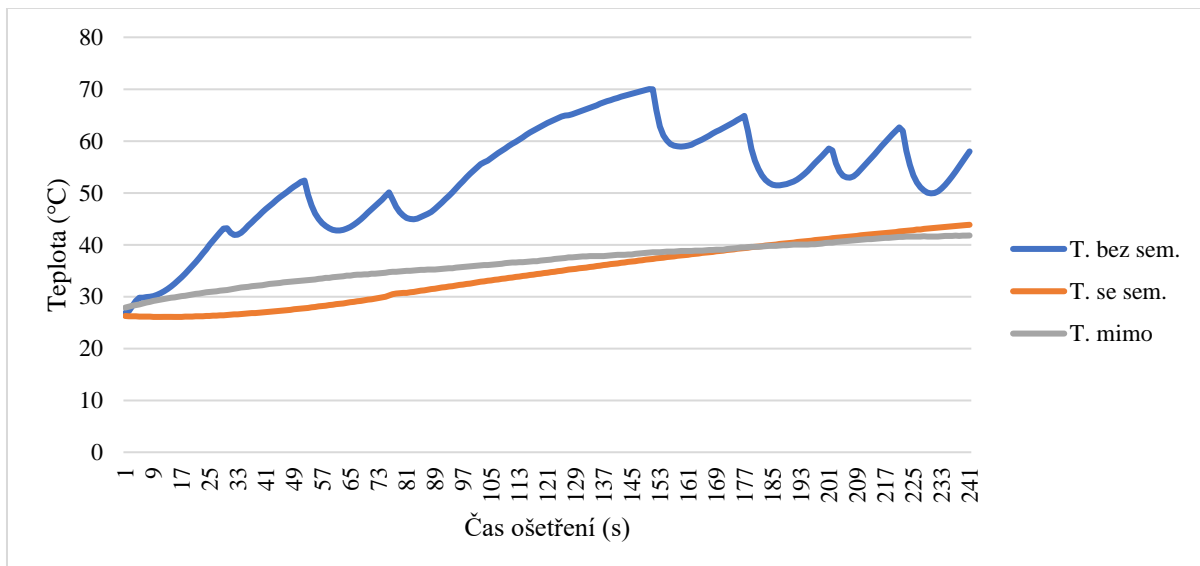
**Výsledky:** Z grafů č. 1 a 3 vyplynuly rozdíly v teplotních charakteristikách mezi jednotlivými typy ošetření. Šlo především o kontinuálně rostoucí teplotu u S1 systému oproti oscilující teplotě S2 systému. Tím byly ovlivněny i dosažené maximální teploty S1 se semeny 49,93 °C

a S2 40,65 °C při 8 min ošetření. V grafu č. 2 byly zřejmé prudké poklesy teploty při přístřikách, které ochlazovaly prostor, ale zvyšovaly teplotu se semeny díky vyšší tepelné vodivosti kapalin.

**Graf č. 1: Průběh teplot při ošetření S1 sestavou se vzdáleností trysky 100 mm**



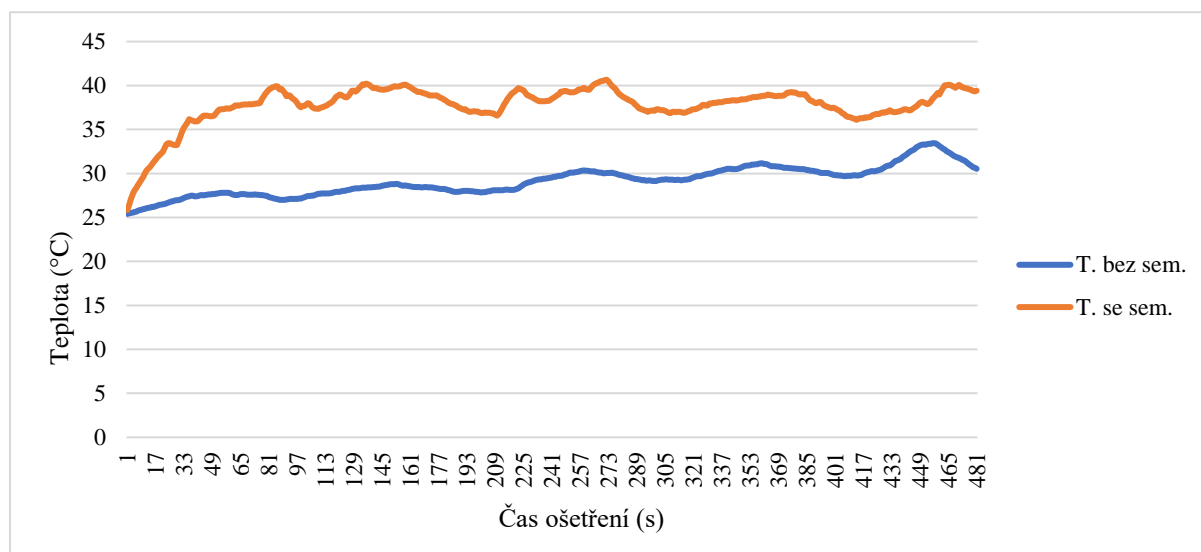
**Graf č. 2: Průběh teplot při ošetření S1 sestavou se vzdáleností trysky 100 mm s přístřikem**



**Závěr:** Z testovaných variant byly vyřazeny ty, které již teplotně neumožňovaly ošetření semen bez poškození. Šlo o varianty se vzdáleností trysky 60 mm a časem ošetření nad 3 min.



**Graf č. 3: Průběh teplot při ošetření S2 sestavou se vzdáleností trysky 20 mm**



### 4.3 Cíl: Posouzení vlivu plazmatu na poškození semen a jejich vlastnosti

#### 4.3.1 Konduktometrie

**Metodika:** Plazmatické ošetření působí zvláště na povrchové vrstvy osiva. Při nevhodně zvolené expozici proto může dojít k jejich poškození. Pro zjištění potenciálního poškození buněčných membrán semen bylo pro srovnání systémů S1 a S2 provedeno měření vodivosti roztoku po vylouhování semen. Louhování se provádělo 24 hod při teplotě 22 °C.

Pro zjištění možnosti dlouhodobé skladovatelnosti plazmaticky ošetřeného osiva byl experiment zopakován znovu po roce od ošetření. Získané hodnoty vodivosti ihned po ošetření a po roce po ošetření byly srovnány.

**Výsledky:** Ze získaných dat měření bezprostředně po ošetření (tabulka č. 1) vyplýval průkazný vliv typu ošetření na narušení membrán povrchových buněk semen. Při celkovém porovnání vykazovala S1 sestava výrazné narušení membrán + 33,6 % od kontroly, oproti S2 + 2,2 %. Byl zaznamenán i vliv délky ošetření na hodnotu vodivosti. S delším časem se vodivost roztoku zvyšovala u S2 statisticky neprůkazně u S1 šlo o průkazné rozdíly. Všechny varianty S2 sestavy vykazovaly menší poškození než S1. U S2 dokonce varianty 1 a 2 min vykazovaly o 3,3 % respektive 4,4 % lepší výsledky než kontrola (statisticky neprůkazně). Rozdíly byly i při porovnání stejných časů ošetření různými systémy. Časová varianta ošetření S1 sestavou vykazovala vždy vyšší poškození než identická časová varianta u S2 systému.

Podobné relace mezi jednotlivými variantami byly zaznamenány i po roce od ošetření, avšak hodnoty vodivosti byly vyšší (tabulka č. 1). Vzhledem k hodnotě zaznamenané u kontroly (vodivost u ní byla nižší než bezprostředně po ošetření), naznačovaly výsledky, že zrno

nedokázalo membrány kompletně regenerovat a rychleji stárlo než neošetřené osivo. Naměřená data u S1 systému byla průkazně vyšší než kontrola již od 1 min ošetření (oproti 2 min při měření okamžitě po ošetření). Velmi dobře bylo zhoršení kvality membrán po roce viditelné při porovnávání relativních hodnot.

**Tab. č. 1: Konduktometrie — porovnání systémů S1 (PL varianty) a S2 (VZ varianty); číslo v označení varianty značí čas ošetření (min)**

Označení	Konduktivita hned po ošetření		Konduktivita rok po ošetření	
	Absolutní – průměr ± S.E. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ $\text{g}^{-1}$ )	Relativní rozdíl od kontroly (%)	Absolutní – průměr ± S.E. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ $\text{g}^{-1}$ )	Relativní rozdíl od kontroly (%)
VZ 2	43,5 ± 2,3 a	-4,4	47,2 ± 2,8 ab	+8,2
VZ 1	44,0 ± 2,3 a	-3,3	47,1 ± 2,8 ab	+8,1
KON	45,5 ± 2,3 a	0	43,6 ± 2,8 a	0
VZ 3	46,4 ± 2,3 a	+1,8	47,2 ± 2,8 ab	+8,3
VZ 4	48,1 ± 2,3 ab	+5,5	51,7 ± 2,8 abc	+18,5
VZ 5	48,2 ± 2,3 ab	+5,8	48,5 ± 2,8 abc	+11,2
VZ 8	49,2 ± 2,3 ab	+8,1	49,8 ± 2,8 abc	+14,3
PL 1	49,2 ± 2,3 ab	+8,1	54,4 ± 2,8 bc	+24,7
PL 2	54,2 ± 2,3 bc	+19	57,5 ± 2,8 cd	+31,9
PL 3	56,6 ± 2,3 c	+24,3	63,4 ± 2,8 de	+45,5
PL 4	65,5 ± 2,3 d	+43,8	67,0 ± 2,8 e	+53,7
PL 5	65,7 ± 2,3 d	+44,3	71,9 ± 2,8 e	+64,8
PL 8	73,9 ± 2,3 e	+62,3	70,5 ± 2,8 e	+61,7
KON	45,5 ± 4 a	0	43,6 ± 3,6 a	0
S2 celkem	46,6 ± 1,6 a	+2,2	48,6 ± 1,5 a	+11,4
S1 celkem	60,8 ± 1,6 b	+33,6	64,1 ± 1,5 b	+47,1

Malá písmena ukazují prokazatelný ( $P < 0,05$ ) rozdíl podle Duncanova testu

**Závěr:** U obou systémů bylo zaznamenáno poškození membrán. S1 systém vykazoval vyšší poškození než S2, který byl srovnatelný s kontrolou. Tento trend se objevoval u všech variant.

Po roce od ošetření bylo u všech sledovaných hodnot (kromě PL 8) patrné zhoršení, tedy zvýšení vodivosti.

#### 4.3.2 Test nasákavosti semen

**Metodika:** Schopnost semen nasávat vodu je důležitý faktor pro začátek bobtnání a následné klíčení. Je mimo jiné ovlivněn strukturou povrchu semene. Ten je plazmatickým ošetřením ovlivněn. Máčení se provádělo 24 hod při teplotě 22 °C. Byl zjištěn rozdíl v příjmu vody osivem ošetřeným různými expozicemi plazmatu. I tento test byl zopakován po roce skladování. K oběma termínům měření byl proveden test vzcházení v perlitu.

**Výsledky:** Varianty, u kterých byly při konduktometrii naměřeny nejvyšší hodnoty, vykazovaly i nejvyšší přírůstek na hmotnosti (korelační koeficient byl 0,86). S1 sestava nasákla statisticky průkazně více vody o 5,6 % než kontrola, S2 o 1,7 % méně než kontrola.

Po roce skladování byl v meziročním srovnání přírůstek hmotnosti nasáknutím zrn jednotlivých variant vždy nižší (včetně kontroly). Oproti kontrole pak nižší téměř u všech variant (i když naměřená vodivost se zvýšila). Korelační koeficient (vodivost vs. nasákavost) se snížil na hodnotu 0,72. S1 sestava se při celkovém hodnocení již od kontroly průkazně nelišila, ale lišily se S1 a S2 mezi sebou. S1 přijala více vody než S2.

Lepší vzcházení bylo zaznamenáno u testů ihned po ošetření u obou systémů (tabulka č. 2). S2 sestava vykazovala v obou termínech vyšší procento vzcháživosti než S1.

**Tab. č. 2: Růstové parametry v perlitu před a po skladování**

System/čas	Energie vzcházení % na KON – průměr ± S.E. (%)	Vzcháživost % na KON – průměr ± S.E. (%)
S1 po roce	61,2 ± 4,7 a	84,5 ± 2,8 a
S1 hned	80 ± 4,7 ab	90,8 ± 2,8 ab
S2 po roce	98,6 ± 4,7 b	98,9 ± 2,8 b
KON	100 ± 11,5 b	100 ± 6,8 b
S2 hned	102,4 ± 4,7 b	101,6 ± 2,8 b

Malá písmena ukazují prokazatelný ( $P < 0,05$ ) rozdíl podle Duncanova testu

**Závěr:** Získaná data ihned po ošetření podpořila výsledky konduktometrie tedy dokázala narušení povrchové vrstvy semen plazmatickým ošetřením. Po roce od ošetření se u semen projevil vliv stárnutí. Schopnost semen nasáknout vodu byla nižší než okamžitě po ošetření. Provedenými testy vzcházejivosti v perlitu bylo dokázáno, že schopnost semen nasáknout vodu není v korelaci se vzcházením.

#### **4.4 Cíl: Posouzení vlivu různých látek přidávaných do procesu plazmatického ošetření a různých sestav přístroje na klíčivost spor *Tilletia***

##### **Publikováno:**

###### **Impaktované publikace:**

Ježek S., Horčíčka P., Jozová E., Čurn V. (2023): Comparison of the effect of additives during Gliding Arc plasma treatment on the germination of bunt spores and growth characteristics of wheat. *Plant Protect. Sci.*, 59 (3): 256-263. <https://doi.org/10.17221/51/2023-PPS>

###### **Příspěvky na konferencích ve sborníku:**

Ježek S., Čurn V., Horčíčka P., Veškrna O., Jozová E. (2020): Zvyšování efektivity ošetření osiva pšenice chladným plazmatem pomocí přidávání dusíkatých látek a vody během procesu. *Pšenice 2020*. Praha, poster a krátká sdělení.

Ježek S., Horčíčka P., Jozová E., Veškrna O., Čurn V. (2021): Improving the phytosanitary efficiency of Gliding Arc plasma seed treatment by adding nitrogenous solutions to the process. 6th Conference of cereal biotechnology and breeding. Budapešť, 109.

Ježek S., Čurn V., Jozová E., Horčíčka P., Veškrna O. (2021): Vliv ošetření osiva pšenice chladným plazmatem na klíčivost a vzcházejivost. *Osivo a sadba XV*. Praha, 48-54.

**Metodika:** Ošetření osiva chladným plazmatem je potenciálně zamýšleno jako náhrada za chemické moření. Je tedy důležité znát vliv ošetření na zdravotní stav osiva.

Jako modelový patogen pro testy byly vybrány spory snětí mazlavých *Tilletia caries* (*triticii*), protože ty patří mezi patogeny běžně likvidované mořením chemickými látkami.

Umělá infekce osiva byla provedena důkladným protřepáváním spor s osivem v plastové nádobě po dobu 5 min.

Pro testy klíčivosti spor byl užit vodní agar ve 2 % koncentraci (98 ml vody 2 g agaru) s přídatkem sodné soli ampicilinu a streptomycin sulfátu.

Hodnocení životaschopnosti spor *Tilletia* pomocí jejich klíčivosti bylo prováděno po deseti dnech. Pod stereomikroskopem se 40násobným zvětšením byly počítány klíčící a neklíčící spory ve vzorku a počítány klíčivosti.

Do testů bylo celkem zařazeno 37 variant ošetření. Ošetření samostatným plazmatem v obou systémech a dále různé způsoby zefektivnění procesu pomocí přidání dusíkatých látek a vody přístřikováním mezi trysku a osivo. Ke každé variantě byl proveden také test vzcházení v perlitu kvůli zjištění vlivu ošetření na osivo.

**Výsledky:** Tabulka č. 3 dokládá účinnost jednotlivých přídatků užívaných k zefektivnění procesu ošetření v expozici 100 mm vzdálenost trysky/ 4 min čas. Největšího zlepšení účinnosti bylo dosaženo přídatkem vody, klíčivost spor byla snížena na 32,7 % oproti kontrole. Zlepšení bylo zaznamenáno ještě u přídatku směsi ledku vápenatého s Terra-Sorbem<sup>®</sup>. Při podrobném porovnání variant s přídatkem dusíkatých látek a soli (tabulka č. 4) bylo zaznamenáno zlepšení u všech variant směsi ledku vápenatého s Terra-Sorbem<sup>®</sup> a u slaných variant samotného Terra-Sorbu<sup>®</sup>. Nejlepší Terra-Sorb<sup>®</sup> se solí přidanou posledním přístřikem snížila klíčivost spor *Tilletia* na 34,8 % oproti kontrole.

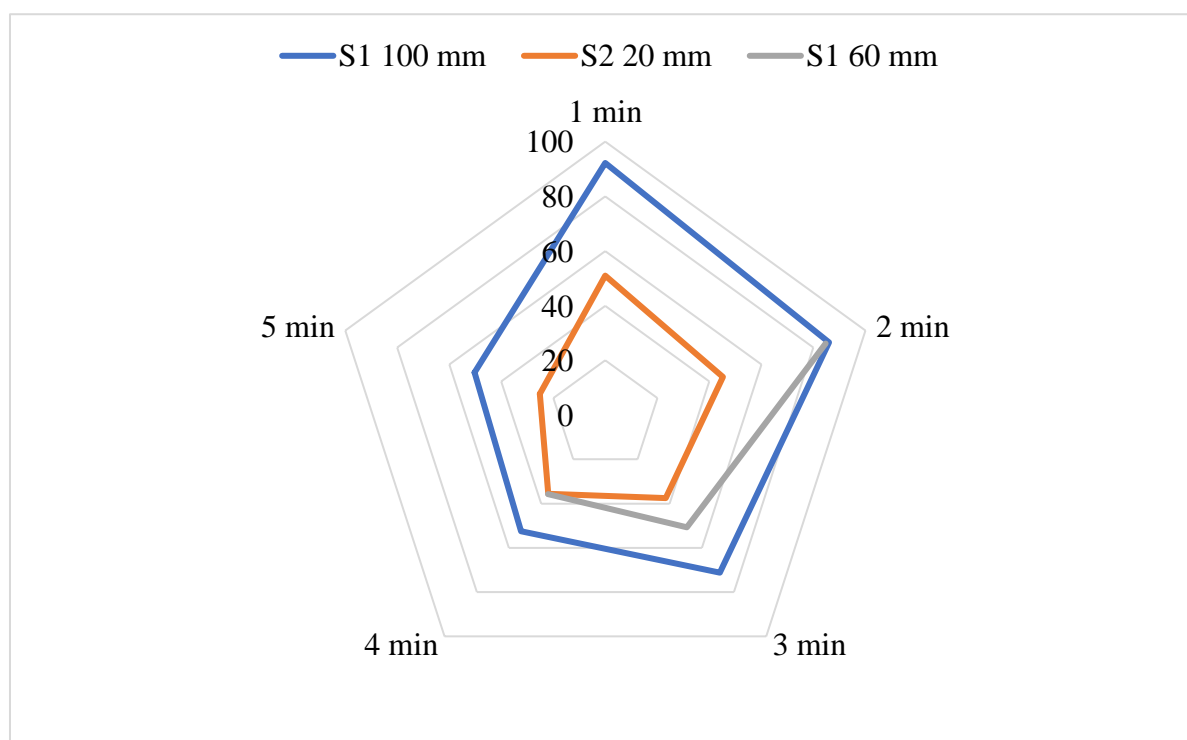
**Tab. č 3: Porovnání variant S1 systému s přídatky**

Označení	Klíčivost spor <i>Tilletia</i> % na KON – průměr ± S.E. (%)
10/4 H <sub>2</sub> O	32,7 ± 6 a
10/4 LVTER 0,1+20	47,6 ± 6 ab
PL 10/4	52,5 ± 4,3 b
10/4 TER 20	60,6 ± 6 bc
10/4 LV 0,1	71,8 ± 6 c
10/4 MOC 0,1	74,4 ± 6 c
KON	100 ± 6 d

Malá písmena ukazují prokazatelný ( $P < 0,05$ ) rozdíl podle Duncanova testu

Z grafu č. 4 vyplývá, že S2 systém vykázal ve srovnání ostatních expozic samostatného plazmatu nejvyšší účinnost na likvidaci spor *Tilletia* ve všech časech působení.

**Graf č. 4: Klíčivost spor *Tilletia* – porovnání S1 60 mm, 100 mm a S2 20 mm**



**Tab. č. 4: Porovnání variant S1 systému s přidavkem LV, TER, LVTER a soli**

Označení	Klíčivost spor <i>Tilletia</i> % na KON – průměr ± S.E. (%)	Přídavek	Klíčivost spor <i>Tilletia</i> % na KON – průměr ± S.E. (%)
10/4 TER 20 SP	34,8 ± 5 a	LVTER	43,8 ± 4,1 a
10/4 TER 20 S	36,5 ± 5 a	TER	44 ± 4,1 a
10/4 LVTER 0,1+20 SP	41,4 ± 5 ab	BEZ PŘÍDAVKU	52,5 ± 5 a
10/4 LVTER 0,1+20 S	42,4 ± 5 ab	LV	87,4 ± 4,1 b
10/4 LVTER 0,1+20	47,6 ± 5 abc	KON	100 ± 7,1 b
PL 10/4	52,5 ± 3,5 bc	<b>Sůl</b>	
10/4 TER 20	60,6 ± 5 cd	BEZ PŘÍDAVKU	52,5 ± 9,2 a
10/4 LV 0,1	71,8 ± 5 d	SŮL	55,2 ± 7,6 a
10/4 LV 0,1 S	86,7 ± 5 e	SŮL POSLEDNÍ	59,9 ± 7,6 a
KON	100 ± 5 ef	S PŘÍDAVKEM	60 ± 7,6 a
10/4 LV 0,1 SP	103,6 ± 5 f	BEZ SOLI	
		KON	100 ± 13,1 b

Malá písmena ukazují prokazatelný ( $P < 0,05$ ) rozdíl podle Duncanova testu

Z tabulky č. 5, ve které je doplněná i vzcházivost v perlitu, je zřejmá vysoká účinnost S2 systému na klíčivost spor a zároveň na zlepšování semenářských vlastností osiva. Z přidávaných dusíkatých látek vykazovala nejlepší výsledky v obou sledovaných parametrech směs ledku vápenatého s Terra-Sorbem®.

Přídavek vody při 4min expozici se svými výbornými fyto-sanitárními účinky působil zhoršování vzcházení, to bylo málo ovlivněné jen při přidání vody do 2min ošetření.

**Závěr:** Pomocí výsledků testů byly vybrány varianty, které působí negativně na klíčivost spor sněti a zároveň kladně nebo neutrálně na semenářskou kvalitu osiva. Pro další pokusy byl vybrán S2 systém, protože dosáhl výborných výsledků a splňoval i hlediska menší pracnosti a menší náročnosti na přípravu.

**Tab. č. 5: Porovnání variant S1 a S2 systémů snižujících klíčivost spor pod 50 % kontroly**

Označení	Klíčivost spor <i>Tilletia</i> % na KON – průměr ± S.E. (%)	Vzcházivost v perlitu % na KON – průměr (%)
VZ 8	17,6 ± 3,2 a	109
VZ 5	25,2 ± 3,2 ab	106,3
PL 10/8	26,5 ± 3,2 ab	53,4
10/4 H <sub>2</sub> O	32,7 ± 4,5 bc	68,9
10/4 TER 20 SP	34,8 ± 4,5 bcd	91,7
VZ 4	35,5 ± 3,2 bcd	106,9
PL 6/4	35,7 ± 4,5 bcd	30,1
10/4 TER 20 S	36,5 ± 4,5 bcd	72,2
VZ 3	37,5 ± 3,2 bcd	105,5
10/4 LVTER 0,1+20 SP	41,4 ± 4,5 cd	95,8
10/4 LVTER 0,1+20 S	42,4 ± 4,5 cd	93
10/2 H <sub>2</sub> O	44,6 ± 4,5 cd	94,3
VZ 2	45,2 ± 2,6 cd	112,7
6/3 LV 0,1	47,5 ± 4,5 d	94,1
10/4 LVTER 0,1+20	47,6 ± 4,5 d	95,8
KON	100 ± 4,5 e	100

Malá písmena ukazují prokazatelný ( $P < 0,05$ ) rozdíl podle Duncanova testu

#### **4.5 Cíl: Hodnocení růstových charakteristik rostlin pšenice po ošetření nově konfigurovanou sestavou přístroje a porovnání s klasickou sestavou**

##### **Metodika:**

**Klíčivost na papíře:** Jako nejrychlejší test semenářské kvality osiva po plazmatickém ošetření byl prováděn test klíčivosti na filtračním papíře v laboratorních podmínkách. Kultivace probíhala ve 20 °C ve tmě. Odečet energie klíčení probíhal po 4 dnech, celková klíčivost po 7 dnech.

**Růstové testy v perlitu:** Podle testu vzcházivosti v perlitu se dá přesněji odhadnout vitalita osiva po plazmování. Skleníkový test vzcházivosti v perlitu byl koncipován k získání dat o energii vzcházení, vzcházení, velikosti rostlin, čerstvé a suché hmotnosti nadzemní části i kořenů.

**Polní testy:** Výsledky polních pokusů nejlépe odrážejí možnost využití různého plazmatického ošetření osiva v praxi. Polní pokusy byly prováděny v jednořádkových testech s pěti opakováními a v maloparcelkách se čtyřmi opakováními.

V polních pokusech se prováděla hodnocení takových vlastností, které mohly nejvíce vypovědět o vlivu ošetření na růst a vývoj rostliny ve všech fázích – polní energie vzcházivosti, vzcházivost, velikost mladých rostlin, listová pokryvnost, odnožování, výskyt nejdůležitějších chorob, ranost rostlin, velikost rostlin v době zrání, výnos a kvalitativní parametry.

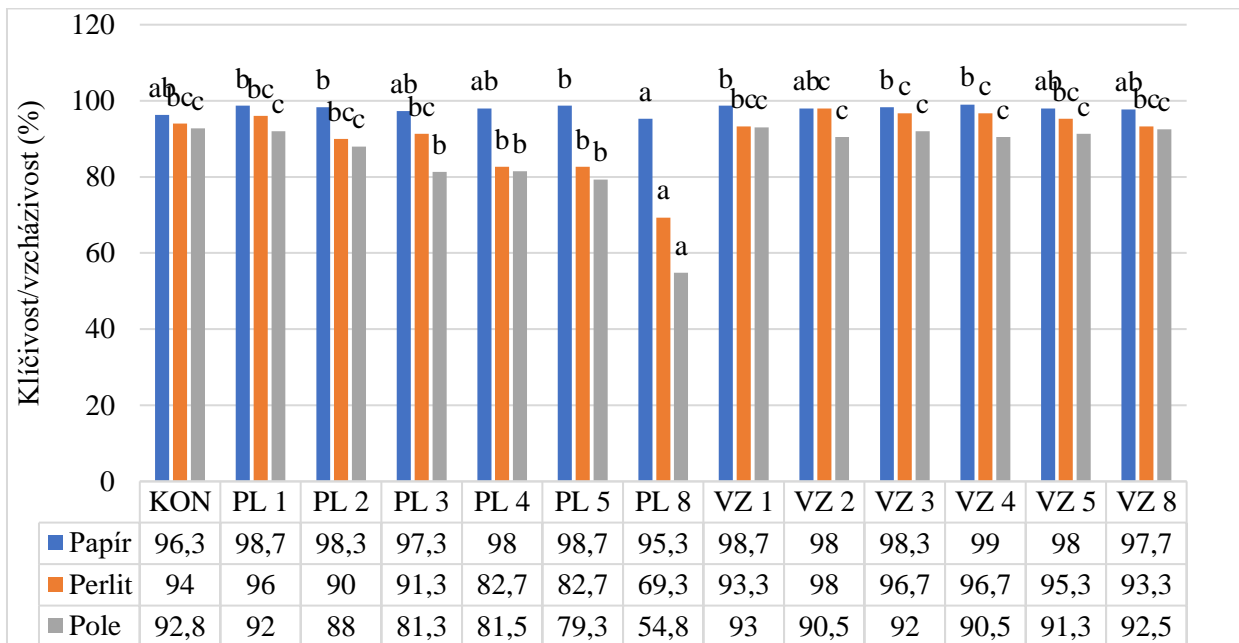
**Výsledky:** Zjištěná data jsou uvedena v grafech č. 5 a 6. Výsledky testů klíčivosti na papíře nevykázaly u jarní ani u ozimé pšenice velké rozdíly. Rozsah hodnot klíčivosti jarní pšenice u S1 sestavy byl 95,3 – 98,7 %, u S2 sestavy 97,7 – 99 %. U ozimé pšenice se hodnoty klíčivosti u S1 sestavy pohybovaly v rozsahu 75,3 – 97,3 % u S2 93 – 96,3 %.

Zkoušky vzcházivosti v perlitu vykazaly vyšší rozdíly mezi variantami i systémy než klíčivost na papíře. Hodnoty variant S1 systému se pohybovaly většinou pod kontrolou, hodnoty S2 systému byly srovnatelné nebo lepší než kontrolní varianta. K průkaznému snížení vzcházivosti došlo u exponovanějších variant u jarní pšenice u PL 8, u ozimé PL 4, 5, 8.

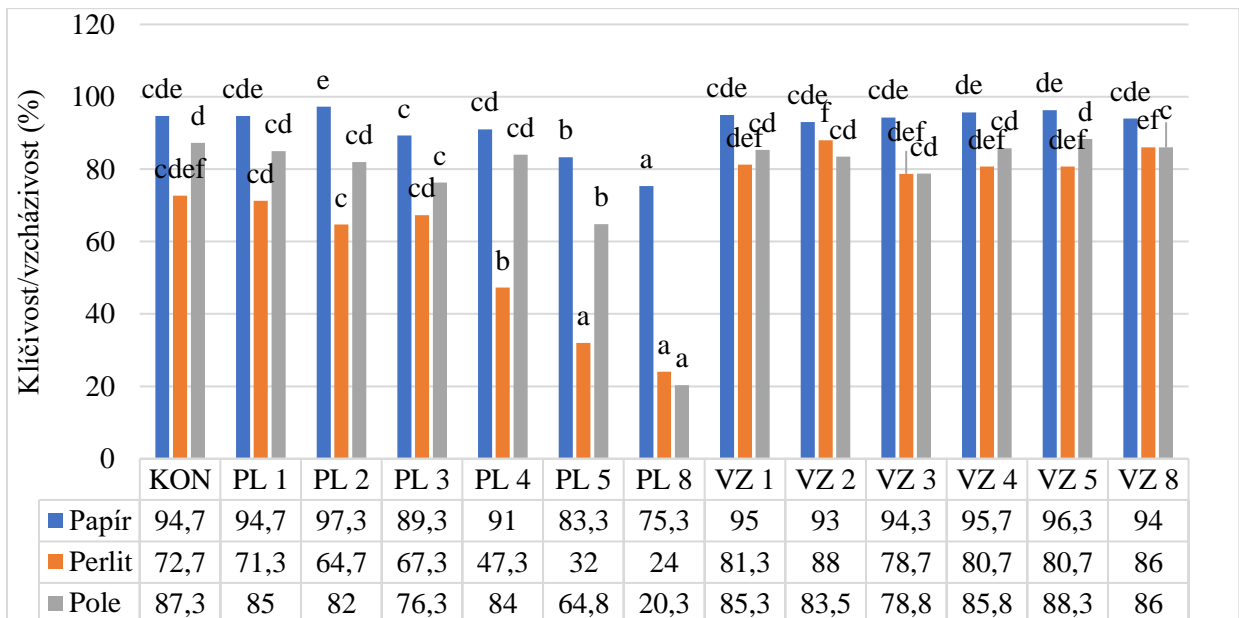
Polní vzcházivost prokázala největší rozdíly. U jarní pšenice se průkazně oproti kontrole zhoršily varianty PL 3, 4, 5, 8. Systém S2 nevykázal rozdíly od kontrolní varianty. U ozimé pšenice ukázaly průkazné snížení varianty PL 3, 5, 8 a VZ 8.



**Graf č. 5: Jarní pšenice – porovnání růstových charakteristik S1 a S2 systémů: klíčení na papíře, vzcházení v perlitu a na poli**



**Graf č. 6: Ozimá pšenice – porovnání růstových charakteristik S1 a S2 systémů: klíčení na papíře, vzcházení v perlitu a na poli**



Testy v perlitu ukázaly při porovnání dosažené velikosti rostlin u jarní pšenice statistické rozdíly u variant 3, 4, 5 a 8 min mezi S1 a S2 systémy. S1 vykazoval v těchto

variantách menší velikost. I v porovnání systémů jako celků dosáhl S2 průkazně vyšších rostlin než S1. U ozimé pšenice byly mezi S1 a S2 systémem průkazně rozdílné jen varianty 5 a 8 min. Při celkovém porovnání u ozimé pšenice nebyly nalezeny rozdíly mezi systémy. I přes rozdíly ve výšce rostlin získaná čerstvá a suchá hmotnost nadzemní hmoty se statisticky nelišila u žádné varianty.

**Tab. č. 6: Porovnání výnosů u systémů S1 a S2**

Označení	Výnos jarní pšenice		Označení	Výnos ozimá pšenice	
	Absolutní – průměr ± S.E. (kg/ parcelu)	Relativní % na KON – průměr (%)		Absolutní – průměr ± S.E. (kg/ parcelu)	Relativní % na KON – průměr (%)
PL 8	1,68 ± 0,1 a	84,48	PL 8	1,87 ± 0,1 a	88,72
PL 3	1,85 ± 0,1 ab	92,93	PL 5	1,97 ± 0,1 ab	93,39
PL 4	1,85 ± 0,1 ab	93,18	VZ 1	1,98 ± 0,1 ab	94,06
PL 5	1,86 ± 0,1 ab	93,69	PL 4	1,98 ± 0,1 ab	94,09
PL 1	1,9 ± 0,1 b	95,67	VZ 5	2,02 ± 0,1 ab	95,78
VZ 1	1,9 ± 0,1 b	95,86	VZ 8	2,05 ± 0,1 ab	97,19
VZ 2	1,93 ± 0,1 b	96,95	PL 3	2,07 ± 0,1 ab	98,27
VZ 3	1,93 ± 0,1 b	97,37	PL 1	2,08 ± 0,1 ab	98,6
VZ 5	1,96 ± 0,1 b	98,64	PL 2	2,08 ± 0,1 ab	98,88
VZ 8	1,96 ± 0,1 b	98,73	KON	2,11 ± 0,1 ab	100
VZ 4	1,99 ± 0,1 b	99,96	VZ 2	2,12 ± 0,1 ab	100,89
KON	1,99 ± 0,1 b	100	VZ 3	2,16 ± 0,1 b	102,57
PL 2	2,01 ± 0,1 b	101,33	VZ 4	2,16 ± 0,1 b	102,59
<hr/>					
S1	1,86 ± 0,03 a	93,54	S1	2,01 ± 0,03 a	95,32
S2	1,95 ± 0,03 a	97,96	S2	2,08 ± 0,03 a	98,85
KON	1,99 ± 0,07 a	100	KON	2,11 ± 0,08 a	100

Malá písmena ukazují prokazatelný ( $P < 0,05$ ) rozdíl podle Duncanova testu

Rozdílná situace byla zjištěna u suché hmotnosti kořenové soustavy. S2 systém vykázal větší tvorbu suché hmoty kořenové soustavy, a to statisticky průkazně od S1 systému a

neprůkazně od kontroly. Tím by mohly být rostliny vyrostlé ze zrn ošetřených S2 systémem odolnější nepříznivým podmínkám. Stejně výsledky byly dosaženy u čerstvé hmotnosti kořenové soustavy.

V polních hodnoceních v průběhu vegetace nebyly u sledovaných parametrů zjištěny rozdíly od kontrolní varianty ani mezi systémy. Pouze u jarní pšenice v BBCH 24 i BBCH 31 byla zaznamenána menší listová pokryvnost u systému S1.

Porovnání výnosů (tabulka č. 6) také nepřineslo nalezení rozdílů. Jediná varianta PL 8 u jarní pšenice vykazovala prokazatelně snížený výnos oproti kontrole. Ze sledovaných kvalitativních parametrů došlo ke zvýšení HTZ u jarní pšenice a objemové hmotnosti u ozimé u systému S1. Všechny ostatní kvalitativní ukazatele nebyly odchýlené od kontroly.

**Závěr:** Po důkladném otestování variant S1 a S2 systému lze konstatovat, že systém S1 měl ve většině případů zhoršující vliv na sledované parametry, zvláště jeho exponovanější varianty. Proto byl pro následné dvouleté testy vybrán systém S2.

### **Cíl: Dvouleté polní maloparcelkové testy nově konfigurované sestavy přístroje**

**Metodika:** Dvouleté zkoušky se prováděly s S2 systémem u variant 1, 2, 3, 4 a 5 min. Využita byla jarní i ozimá pšenice. Hodnocené parametry a metodika hodnocení byly stejné jako u jednoletých testů S1 a S2 systémů.

**Výsledky:** Sledované parametry v dvouletých testech nevykázaly průkazné rozdíly variant od kontroly ani variant mezi sebou.

Nejmenší rozdíly od kontroly byly u klíčivosti na papíře, hodnoty se pohybovaly v rozsahu -1 až +1,2 %. V perlitu vzcházely všechny testované varianty lépe než kontrola o 1,4 až 4,7 %. V polních pokusech vzcházely naopak varianty hůře než kontrola o -0,4 až -3,3 %. Při porovnání systému S2 jako celku s kontrolou byla zaznamenána klíčivost na papíře u S2 o 0,5 % vyšší, vzcházivost v perlitu o 2,9 % vyšší a vzcházivost na poli o 1,6 % nižší.

Kromě suché hmotnosti kořenů u varianty VZ 1 byly všechny naměřené hodnoty vyšší než kontrola (statisticky neprůkazně). V celkovém porovnání systému S2 oproti kontrole vykazoval S2 o 4,6 % vyšší suchou hmotnost kořenů než kontrola, o 9,5 % vyšší čerstvou hmotnost kořenů a o 3,8 % vyšší velikost rostlin v perlitu. Nejvyšší rozdíly od kontroly dosáhla čerstvá hmotnost kořenů ve variantách VZ 3 a VZ 5 a to 14,5 %.

V polních zkouškách byly sledovány energie vzcházení, celková vzcházivost, velikost rostlin, počet odnoží, listová pokryvnost, začátek metání, výskyt nejdůležitějších chorob, výnos a kvalitativní parametry. Žádné ze sledovaných veličin v polních testech nevykazovaly statisticky průkazné rozdíly od kontrolní varianty ani mezi jednotlivými variantami.

Rozdíl ve výnosu jednotlivých variant od kontrolní varianty se pohyboval v rozmezí od - 1,8 do +1,1 %. Hodnoty obsahu bílkovin, objemové hmotnosti a HTZ se pohybovaly v rozsahu - 1,9 % až + 1,4 %. Při porovnání S2 jako celku s kontrolní variantou se ukázalo mírné zvýšení HTZ a objemové hmotnosti kvůli snaze o kompenzaci sníženého výnosu.

**Závěr:** Ve dvouletých testech na papíře, v perlitu a na poli nebyly ve sledovaných parametrech nalezené průkazné rozdíly. Lze tedy konstatovat, že S2 systém je srovnatelný s neošetřenou kontrolou. Průkazný rozdíl vykazovaly varianty mezi sebou a kontrolou jen při hodnocení působení na klíčivost spor *Tilletia*. Fytosanitární schopnost tohoto systému byla výrazně vyšší než u ostatních zkoušených variant (graf č.4).

Systém S2 je možné doporučit k dalšímu výzkumu na získání dat o působení na další patogeny. V budoucnu bude třeba ho otestovat v poloprovozních a provozních podmínkách.

## 5 Posouzení výzkumných hypotéz

**Znění hypotézy H1:** Ošetření osiva pšenice chladným plazmatem ovlivňuje jeho semenářské vlastnosti.

**Potvrzení/zamítnutí hypotézy H1:** Výzkum prokázal potvrzení této hypotézy.

**Hypotéza H2:** Ošetření osiva pšenice chladným plazmatem ovlivňuje následný růst a výnos.

**Potvrzení/zamítnutí hypotézy H2:** Experimenty prokázaly potvrzení H2 v části následný růst a nepotvrdily ji v části výnos.

**Hypotéza H3:** Ošetření osiva pšenice chladným plazmatem může omezit využívání chemických látek v zemědělství.

**Potvrzení/zamítnutí hypotézy H3:** Tato hypotéza byla výzkumem potvrzena.

**Hypotéza H4:** Ošetření osiva pšenice chladným plazmatem snižuje klíčivost spor *Tilletia caries*.

**Potvrzení/zamítnutí hypotézy H4:** Experimenty potvrdily hypotézu H4.

## 6 Použitá literatura

- Beran P., Zemanová M., Kříž P., Stehlíková D., Olšan P., Havelka Z., Čurn V. (2016): Vliv nízkoteplotního plazmatu na životaschopnost fytopatogenních bakterií. Úroda (vědecká příloha časopisu), 12: 129.
- Burlica R., Kirkpatrick M. J., Finney W. C., Clark R. J., Locke B. R. (2004): Organic dye removal from aqueous solution by glidarc discharges. *Journal of Electrostatics*, 62: 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2004.05.007>
- Bychkov V.L., Chernikov V.A., Deshko K.I., Zaitsev F.S., Mikhailovskaya T.O., Shvarov A.P., Izotov A.M., Tarasenko B.A., Dudarev D.P. (2021): Corona discharge influence on winter wheat and winter barley seeds infected by fungal disease. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 99: 1-7. <https://doi.org/10.1109/TPS.2021.3049317>
- Cerny P., Bartoš P., Olšan P., Špatenka P. (2019): Hydrophobization of cotton fabric by Gliding Arc plasma discharge. *Current Applied Physics*, 19 (2):128–136.
- Czemichowski A. (1994): Gliding arc. Applications to engineering and environment control. *Pure & Appl. Chem.*, 66 (6): 1301-1310.
- ČSÚ: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=statistiky&katalog=30840>
- Dasan B. G., Onal-Ulusoy B., Pawlat J., Diatczyk J., Sen Y., Mutlu M. (2017): A new and simple approach for decontamination of food contact surfaces with gliding arc discharge atmospheric non-thermal plasma. *Food Bioprocess Technol.*, 10: 650–661. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1847-2>
- Du Ch., Li H., Zhang L., Wang J., Huang D., Xiao M., Cai J., Chen Y., Yan H., Xiong Y., Xiong Y. (2012): Hydrogen production by steam-oxidative reforming of bio-ethanol assisted by Laval nozzle arc discharge. *International journal of hydrogen energy*, 37: 8318–8329.
- Gavril B., Hnatiuc E., Sera B., Hruskova I., Padureanu S., and Hăisan C.: Possibilities of performing treatments on seeds using cold plasma discharges. In: XIXth Symposium on Physics of Switching Arc. Brno, University of Technology, 2011, p. 189-192.
- Gharagozalian M., Dorranean D., Ghoranneviss M. (2017): Water treatment by the AC gliding arc air plasma. *J Theor Appl Phys.*, 11: 171–180. <https://doi.org/10.1007/s40094-017-0254-z>

- Hanna W. F., Vickery H. B., Pucher G. W. (1932): The isolation of trimethylamine from spores of *Tilletia levis*, the stinking smut of wheat. *Journal of Biological chemistry*, 97 (2): 351–358. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)76191-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)76191-7)
- Havelka Z., Běláková S., Bohatá A., Hartman I., Kábelová H., KřížP., Benešová K., Dienstbier M., Bartoš P., Špatenka P. (2019): The effect of low-temperature plasma discharge on mycotoxin content in barley and malt. *Kvasny prumysl*, 65: 158–165. <https://doi.org/10.18832/kp2019.65.158>
- Honga S.-H., Kimb T. H., Choia S. (2019): Hydrophilic surface modification of polytetrafluoroethylene film with Gliding Arc plasma. *Appl. Sci. Conver. Technol.*, 28(4): 101-106. <https://doi.org/10.5757/ASCT.2019.28.4.101>
- Chiappim W., Bernardes V. de Paula, Almeida N.A., Pereira V.L., Bragotto A.P.A., Cerqueira M.B.R., Furlong E.B., Pessoa R., Rocha L.O. (2023): Effect of gliding arc plasma jet on the mycobiota and deoxynivalenol levels in naturally contaminated barley grains. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20: 5072. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065072>
- Indarto A., Yang D. R., Choi J. - W., Lee H., Song H. K. (2007): Gliding arc plasma processing of CO<sub>2</sub> conversion. *Journal of Hazardous Materials*, 146: 309–315. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.023>
- Jelínek P., Polášková K., Jeník F., Jeníková Z., Dostál L., Dvořáková E., Cerman J. Šourková H., Buršíková V., Špatenka P., Zajičková L. (2019): Effects of additives on atmospheric pressure gliding arc applied to the modification of polypropylene. *Surface & Coatings Technology*, 372: 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.04.035>
- Khalili F., Shokri B., Khani M. - R., Hasani M., Zandi F., Aliahmadi A, (2018): A study of the effect of gliding arc non-thermal plasma on almonds decontamination. *AIP ADVANCES*, 8:105024. <https://doi.org/10.1063/1.5044476>
- Khani M. R., Shokri B., Khajeh K. (2017): Studying the performance of dielectric barrier discharge and gliding arc plasma reactors in tomato peroxidase inactivation. *Journal of Food Engineering*, 197: 107e112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.012>
- Krishna, S., Maslani, A., Izdebski, T., Horakova, M., Klementova, S., a Spatenka, P. (2016): Degradation of verapamil hydrochloride in water by gliding arc discharge. *Chemosphere*, 152: 47–54.

- Kříž P., Bartoš P., Havelka Z., Kadlec J., Olšan P., Špatenka P., Dienstbier M. (2015): Influence of plasma treatment in open air on mycotoxin content and grain nutriment. *Plasma Medicine*, 5(2–4): 145–158.
- Li L., Zhang H., Li X., Kong X., Xu R., Tay K., Tu X. (2019): Plasma-assisted CO<sub>2</sub> conversion in a gliding arc discharge: Improving performance by optimizing the reactor design. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 29: 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2018.12.019>
- Liu Ch., Cui J., Zhang D., Tang H., Gong B., Zu S., Zhong Ch., (2021): Decontamination of infected plant seeds utilizing atmospheric gliding arc discharge plasma treatment. *Plasma Sci. Technol.*, 23: 105501. <https://doi.org/10.1088/2058-6272/ac0e1f>
- Ma X., Li S., Chaudhary R., Hessel V., Gallucci F. (2021): Carbon nanosheets synthesis in a Gliding Arc reactor: On the reaction routes and process parameters. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 41:191–209. <https://doi.org/10.1007/s11090-020-10120-z>
- Moreau M., Feuilloley M.G.J., Orange N., Brisset J.-L. (2005): Lethal effect of the gliding arc discharges on *Erwinia* spp. *Journal of Applied Microbiology*, 98: 1039–1046. doi:10.1111/j.1365-2672.2004.02535.x
- Pawłat J., Terebun P., Kwiatkowski M., Wolny-Koładka K. (2021): Possibility of humid municipalwastes hygienisation using Gliding Arc plasma reactor. *Water*, 13: 194. <https://doi.org/10.3390/w13020194>
- Preugschat K., Kersten S., Ettle T., Richter W., Karl H., Breves G., Büttner P., Dänicke S. (2014): Effects of feeding diets containing increasing proportions of bunt-infected wheat (*Tilletia caries*) on performance and health of pigs. *Arch Anim Nutr.*, 68 (1): 55-62. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2014.881065>
- Roy N. C., Hasan M. M., Kabir A.H., Reza M. A., Talukder M. R., Chowdhury A. N. (2018): Atmospheric pressure gliding arc discharge plasma treatments for improving germination, growth and yield of wheat. *Plasma Sci. Technol.*, 20: 115501. <https://doi.org/10.1088/2058-6272/aac647>
- Sera B., Sery M., Gavril B., Gajdova I. (2017): Seed germination and early growth responses to seed pre-treatment by non-thermal plasma in hemp cultivars (*Cannabis sativa* L.). *Plasma Chem Plasma Process*, 37: 207–221. <https://doi.org/10.1007/s11090-016-9763-9>



- Strejckova M., Bohata A., Olsan P., Havelka Z., Kriz P., Beran P., Bartos P., Curn V., Spatenka P. (2018): Enhancement of the yield of crops by plasma and using of entomopathogenic and mycoparasitic fungi: From laboratory to large-field experiments. *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*, 8: 829–836.
- Terebun P., Kwiatkowski M., Hensel K., Kopacki M., Pawłat J. (2021): Influence of Plasma activated water generated in a gliding arc discharge reactor on germination of beetroot and carrot seeds. *Appl. Sci.*, 11: 6164. <https://doi.org/10.3390/app11136164>

## 7 Životopis a publikace

Ing. Stanislav Ježek, Pernerova 1813, Úvaly

### Vzdělání:

- Období – 10/2017–dosud  
Organizace – Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Fakulta zemědělská a technologická  
Speciální produkce rostlinná – doktorské studium
- Období – 10/1997–6/2000  
Organizace – Česká zemědělská univerzita v Praze  
Agronomická fakulta  
Zemědělské inženýrství
- Období – 1/1994–3/1997  
Organizace – Česká zemědělská univerzita v Praze  
Agronomická fakulta  
Bakalářské studium

### Zaměstnání:

- Období – 7/2016–dosud  
Zaměstnavatel – Selgen, a.s.  
Pozice – asistent šlechtitele pšenice  
Pracovní náplň – šlechtění nových odrůd pšenice ozimé a jarní
- Období – 9/2016–dosud  
Zaměstnavatel – Výzkumné centrum SELTON, spol. s.r.o.  
Pozice – výzkumný pracovník  
Pracovní náplň – choroby rostlin, kvalita pšenice
- Období – 4/2000–6/2001  
Zaměstnavatel – Česká zemědělská univerzita v Praze – Laboratoř rostlinných explantátů  
Pozice – odborný technik  
Pracovní náplň – in vitro techniky pěstování rostlin, vedení cvičení

### **Spoluřešitelství na projektech:**

- Využití zobrazovacích metod pro automatické fenotypování ve šlechtění na rezistenci k biotickým a abiotickým stresům u pšenic QK1910041, 2019–2023
- Increasing the efficiency and competitiveness of organic crop breeding 771367: ECOBREED; Horizont 2020
- Zvýšení odolnosti pšenic vůči suchu, mrazu, padlí a fuzariózám klasu pomocí metod genomiky a proteomiky QK1710302, 2017–2021
- Genomická a proteomická charakteristika odolnosti pšenic vůči vybraným abiotickým a biotickým stresům QK22010293, 2022–2025

### **Podíl na vyšlechtěných odrůdách:**

Jarní pšenice – Pexeso

Ozimá pšenice – Steffi, Ibarra, Dancing Queen, Pirueta, Sally, Illusion

### **Impaktované publikace:**

Ježek S., Horčíčka P., Jozová E., Čurn V. (2023): Comparison of the effect of additives during Gliding Arc plasma treatment on the germination of bunt spores and growth characteristics of wheat. *Plant Protect. Sci.*, 59 (3): 256-263. <https://doi.org/10.17221/51/2023-PPS>

### **Příspěvky na konferencích ve sborníku tematické:**

Ježek S., Čurn V., Horčíčka P., Veškrna O., Jozová E. (2018): Vliv ošetření osiva pšenice chladným plazmatem na růst a vývoj rostlin a ovlivnění výnosu. *Pšenice 2018*. Praha, 48.

Ježek S., Čurn V., Horčíčka P., Veškrna O., Jozová E. (2020): Zvyšování efektivity ošetření osiva pšenice chladným plazmatem pomocí přidávání dusíkatých látek a vody během procesu. *Pšenice 2020*. Praha, poster a krátká sdělení.

Ježek S., Horčíčka P., Jozová E., Veškrna O., Čurn V. (2021): Improving the phytosanitary efficiency of Gliding Arc plasma seed treatment by adding nitrogenous solutions to the process. 6th Conference of cereal biotechnology and breeding. Budapešť, 109.

Ježek S., Čurn V., Jozová E., Horčíčka P., Veškrna O. (2021): Vliv ošetření osiva pšenice chladným plazmatem na klíčivost a vzházivost. Osivo a sadba XV. Praha, 48-54.

#### **Recenzované publikace ostatní:**

Chrpová J., Palicová, J., Kozová J., Horčíčka P., Veškrna O., Ježek S. (2020): Fuzariózy klasu u pšenice. Agromanuál, 2020/8, 36-37. ISSN 1801-4895

Chrpová J., Dumalasová V., Palicová J., Hanzalová A., Horčíčka P., Veškrna O., Ježek S., Čapek J. (2020): Certifikovaná metodika Illusion. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. ISBN 978-80-7427-339-1.

Prášil I.T., Musilová J., Veškrna O., Ježek S., Kosová K., Vítámvás P. (2020): Mrazuvzdornost pšenice podle růstového typu a geografického původu. Úroda 12, roč. LXVIII, 2020, vědecká příloha časopisu, 121-124. ISSN 0139-6013.

#### **Příspěvky na konferencích ve sborníku ostatní:**

Veškrna O., Chrpová J., Sedláček T., Matyk J., Pospisilová V., Ježek S., Horčíčka P. (2016): Recently registered wheat varieties ‘Carmina’ and ‘Ibarra’ with improved Fusarium head blight tolerance. 67th Conference: Resistance against biotic pathogens & Plant-microbe interactions. Gumpenstein, 13-15.

Veškrna O., Horčíčka P., Ježek S., Zrčková M., Pospisilová V., Schmiedlova I., Matyk J. (2019): Breeding for FHB resistance in Czech Republic – new resistant varieties. 5th Conference of cereal biotechnology and breeding. Budapešť, 89.

Veškrna O., Ježek S., Bížová I., Škarýd V., Horčíčka P. (2021): Frost resistance of winter wheat tested within the ECOBREED project. 72nd Conference (online): Plant breeding for the „Green Deal“. Gumpenstein, 39-40.

Horčíčka P., Veškrna O., Ježek S., Sedláček T. (2021): Baking quality of wheat in organic farming. 72nd Conference (online): Plant breeding for the „Green Deal“. Gumpenstein, 53-54.

Ježek S., Horčíčka P., Veškrna O., Holavová E., Bížová I. (2023): Baking quality of wheat varieties in the Ecobreed project. EUCARPIA Cereals Section Conference 2023. Szeged, 62.